

Отчет по НИР

«Комплексные исследования нестационарных звезд с газо-пылевыми оболочками в оптическом и инфракрасном диапазонах спектра»

за период 1 января - 31 декабря 2021 г

Номер договора: госзадание ГАИШ 3.6

Номер ЦИТИС: АААА-А20-120012990067-3

Руководитель: Ламзин С.А.

Участники НИР в 2020 г.: Додин А.В., Корнилова Л.Н., Кравцова А.С., Пахомов Ю.В., Столяров А.В., Суслина Е.А., Татарникова А.А., Шенаврин В.И.

Выполнен цикл исследований по программе изучения звезд разных типов с газо-пылевыми оболочками, включая мириды, симбиотические мириды, новые звезды, звезды post-AGB и молодые звезды типа Тельца и Ae/Be Херbiga. Основа – многолетние ряды оптической и ИК (JHKLM) фотометрии, а также поляриметрические, спекл-интерферометрические и спектральные наблюдения. Интерпретация основана на численном анализе данных и компьютерном моделировании. Цель исследований — определение параметров звезд и их газо-пылевых оболочек (параметры и свойства пыли).

Получены следующие результаты:

1) В рамках изучения молодых звезд была исследована двойная система ZZ Tau. В течение 2021 г были проведены фотометрические (UBVRIJK), поляриметрические и спекл-интерферометрические наблюдения этой системы. Определены параметры ее орбиты и физические характеристики компонент: эффективная температура, экстинкция, светимость и радиусы звезд ZZ Tau A и ZZ Tau B. Обнаружено, что орбитальная плоскость системы практически перпендикулярна газо-пылевому протопланетному диску, который окружает систему, что противоречит современной теории формирования двойных звезд. Обоснована гипотеза о том, что наблюдаемые в окрестности ZZ Tau молекулярные потоки связаны с процессом формирования системы. Предварительные результаты исследований ZZ Tau были доложены на приглашенном докладе российской онлайн конференции, соответствующая статья до конца 2021 г будет представлена в печать.

2) Была исследована полуправильная переменная AU Vul (IRAS20160+2734) – кандидат в post-AGB объекты. В соответствующей публикации представлены результаты фотометрического мониторинга в UBV Rci и JHKLM-полосах за 2016-2020 гг., спектроскопия с низким разрешением и анализ данных фотометрических обзоров ASAS-3 и ASAS-SN. Показано, что звезда испытывает квазипериодические колебания блеска с переменной амплитудой и периодами 67–75 и 145–150 сут в разные отрезки времени. По спектру в максимуме блеска звезда классифицируется как ранний G-сверхгигант. В этом спектре линии H_a, H_b и более высоких членов бальмеровской серии ослаблены, возможно, из-за эмиссионных компонент, а абсорбции элементов s-процесса (BaII, SrII и YII) незначительно усилены. В спектре на восходящей ветви кривой блеска обнаружена эмиссия в линии H_a. В спектрах на разных уровнях блеска наблюдаются полосы поглощения TiO, интенсивность которых максимальна в минимуме блеска. Распределение энергии в спектре в диапазоне 0.44 (B)–2.2 (K) мкм соответствует спектральным классам от G2I в максимуме до G8I в минимуме блеска. В L и M полосах обнаружен избыток излучения. Распределение энергии в спектре в диапазоне 0.44–90 мкм, построенное по собственным наблюдениям и результатам обзоров WISE, MSX, IRAS и AKARI, удовлетворительно описывается суммой трех составляющих: звезды и пылевых оболочек с $T_{hot} = 1000$ K и $T_{cold} = 150$ K. Используя расстояние, основанное на данных о параллаксе из EDR3 Gaia, $D \approx 2.3$ кпс, получены оценки абсолютной величины $M_V \approx -4.45$ и светимости $L \approx 5450 L_{\odot}$. Сравнение с эволюционными моделями показало, что AU Vul может находиться в самом начале post-AGB стадии эволюции и иметь массу порядка 0.55 M_{\odot} . Отмечается, что звезда имеет ряд свойств, отличающих ее от типичных post-AGB объектов и роднящих со звездами типа RV Tau. (Публикация – Письма в АЖ 47, 505-524, 2021)

3) Были исследованы две двойных системы, компонентами которых являются звезда Вольфа–Райе WC7 и звезда главной последовательности O4–5. Это немногочисленный класс (к настоящему времени известно семь подобных объектов) двойных звезд Вольфа–Райе, при столкновении звездных ветров которых эпизодически (периодически) образуется пыль. В двойной системе WR 125 с компонентами WC 7+O, в 2019 году наблюдался очередной эпизод инфракрасной вспышки

связанный с формированием пыли в этой двойной системе вблизи периастра. Подобное событие произошло в 1991 году, что позволяет впервые определить период в двойной системе, равный 28.1 года. Построены кривые блеска инфракрасного излучения, показывающие сходство между инфракрасной вспышкой 1990-х годов и текущим событием, а также первые измеренные радиальные скорости в системе для определения параметров орбиты. Второй объект - долгопериодическая двойная система WR 140 с большим эксцентриситетом, с четко определенными орбитальными и звездными параметрами. Исследовалось переменное рентгеновское излучение от этого объекта, генерируемое при столкновении ветров от звезды Вольфа Райе со спутником спектрального класса O5.5. Обсуждаются вариации в контексте модели столкновения ветров с использованием широкополосной спектрометрии обсерваторий RXTE, SWIFT и NICER, полученной за 20 лет и почти 1000 наблюдений на трех последовательных периодах обращения продолжительностью 7,94 года, включая 3 прохода через периастр. Величина поглощения рентгеновских лучей использовалась для оценки скорости потери массы обеих звезд и для ограничения морфологии системы. Максимум поглощения достигается вблизи нижнего соединения звезды WR и свидетельствует о механизме отражения ионов, лежащем в основе образования бесстолкновительной ударной волны, управляемой магнитными полями. Сравнение излучения в К-диапазоне и поглощения в линии HeI $\lambda 10830$ показывает, что оба они коррелируют после периастра с асимметричным поглощением рентгеновского излучения. Пыль появляется в течение нескольких дней после прохождения периастра, что указывает на ее образование внутри сжатого в ударной волне газа вблизи точки застоя. Рентгеновские вспышки, наблюдаемые в системе Eta Car, не наблюдались у WR 140, что свидетельствует об отсутствии крупномасштабных неоднородностей ветра. Относительно постоянное мягкое излучение, обнаруженное во время минимума рентгеновского потока, вероятно, не связано с рекомбинацией плазмы, захваченной выходящим ударным газом. По результатам исследований WR 125 и WR 140 опубликованы две статьи в *Bulletin of the American Astronomical Society* v.53, № 1 (2021), а суммарный результат исследований представлен в электронной публикации arXiv:2109.10350.

4) Продолжены спектральные (с высоким и низким разрешениями) и фотометрические (UBVRIJHKLM) наблюдения ряда симбиотических звезд. Благодаря спектральным наблюдениям была установлена симбиотическая природа звезды CSS 1102, ранее считавшейся одиночным красным гигантом S класса. Фотометрический мониторинг в фильтре В выявил наличие у этой системы фликкер-эффекта – крайне редкого типа переменности блеска, который наблюдался не более чем у 12 симбиотических звезд. По характеристикам фликкер-эффекта можно предположить, что его источником является аккреционный диск. Моделирование распределения энергии в спектре CSS 1102 также показало, что в ближнем УФ диапазоне существенный вклад дает дополнительный источник излучения – аккреционный диск. Были получены оценки физических параметров горячего и холодного компонентов системы, туманности и аккреционного диска. По результатам исследований был сделан устный доклад на конференции ВАК-2021 и представлена к печати статья. Продолжены исследования линии LiI в спектрах повторных симбиотических новых. Показано, что возможной причиной избытка лития в спектрах холодных компонентов этого класса объектов являются вспышки на поверхностях горячих компонентов.

5) Проведено численное моделирование распространения высокоскоростных выбросов газа из молодых звезд и найдено, что после прохождения первого сверхзвукового выброса за ним образуется область с низкой концентрацией, т.н. вакуумный след, благодаря которому последующий выброс практически не испытывает сопротивления окружающей среды и распространяется коллимировано. (результаты опубликованы в *Astronomy Reports* 65, № 6, p.477, 2021)

6) Открыта клочковатая структура околос звездной пыли у молодых звезд с масштабами неоднородностей меньше размера звезды, предложен метод её изучения. (результаты опубликованы в *MNRAS* 503, №4, p.5704, 2021)

Кроме того, в 2021 г А.В.Додин вел [Специальный астрономический практикум кафедры Астрофизики и звездной астрономии «Внутреннее строение звезд и звездная эволюция»](#) (обязательный, базовой части, практические занятия, 216 часов), а С.А.Ламзин читал курс лекций [«Строение и эволюция звезд»](#) (обязательный, вариативной части, 72 часа).